

# Analisa Perilaku Arah Kendaraan dengan Variasi Posisi Titik Berat, Sudut Belok dan Kecepatan Pada Mobil Formula *Sapuangin Speed 3*

Tjahyadi Rizky Pradana dan I Nyoman Sutantra  
Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: tantra@me.its.ac.id

**Abstrak**— Pada tahun 2015, ITS Team Sapuangin untuk ketiga kalinya mengikuti lomba *Student Formula Japan* yang diadakan oleh *Japan Society of Automotive Enginee (JSAE)*. Target Team Sapuangin yaitu menjuarai *skid-pad*. Namun kenyataannya ITS Team Sapuangin hanya mampu menyelesaikan *skid-pad* dengan waktu 5,73 detik. Pada perlombaan ini, *TU Graz* adalah tim yang berhasil menjuarai perlombaan *skid-pad* ini dengan waktu 5,03 detik. Kendala yang dialami *Sapuangin Speed 3* adalah sulit dikendalikan dan mengalami *understeer* maupun *oversteer*. Permasalahan ini akan dicoba dianalisa penyebabnya agar pada tahun berikutnya mobil *Sapuangin Speed 4* bisa tampil dengan baik. Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisa tentang perilaku arah kendaraan pada mobil formula *Sapuangin Speed 3* dengan variasi posisi titik berat dan kecepatan di lintasan *skid pad*. Pada awalnya, menentukan posisi titik berat untuk dianalisa, kemudian menghitung gaya-gaya yang terjadi pada ban yang mampu mempengaruhi perilaku arah pada kendaraan, lalu divariasikan dengan kecepatan tertentu hingga mampu memperoleh waktu yang optimal. Sedangkan pada *steering system* yaitu meneliti sudut belok agar mencapai kondisi ideal (*Ackermann*). Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh posisi titik berat yang optimal yaitu tepat ditengah (50% : 50%) dengan  $Kus\ 0,0678$  pada radius 8,982 m. Kemudian dari analisa skid kendaraan mengalami *oversteer* pada *yaw rate* sebesar 2,2677. Dari analisa *steering* Pengaturan *steering* pada *Sapuangin Speed 3*, settingan yang cocok yaitu menggunakan settingan bawah. Karena mobil *Sapuangin Speed 3* cenderung mengalami *understeer*, namun mobil *Sapuangin Speed 3* mengalami *oversteer* akibat *yaw rate* settingan atas merupakan settingan terbaik karena untuk mengatasi *oversteer* yang berlebih.

**Kata Kunci**—analisa guling, analisa skid, analisa slip, kecepatan maksimum, *oversteer*, *sapuangin speed 3*, *skid pad understeer*, waktu terbaik.

## I. PENDAHULUAN

PADA tahun 2015, ITS Team Sapuangin untuk ketiga kalinya mengikuti lomba *Student Formula Japan* yang diadakan oleh *Japan Society of Automotive Enginee (JSAE)*. Dalam lomba ini setiap tim diharuskan untuk mengikuti *dynamic event* dalam perlombaan tersebut, antara lain *acceleration*, *skid-pad*, *autocross* dan *endurance*. Target Team Sapuangin yaitu menjuarai *skid-pad*, karena mobil *Sapuangin Speed 4* memiliki mesin dengan kapasitas yang

kecil dibandingkan dengan tim-tim dari negara lain. Namun kenyataannya ITS Team Sapuangin hanya mampu menyelesaikan *skid-pad* dengan waktu 5,73 detik. Pada perlombaan ini, *TU Graz* adalah tim yang berhasil menjuarai perlombaan *skid-pad* ini dengan waktu 5,03 detik.

Kendala yang dialami *Sapuangin Speed 3* adalah sulit dikendalikan dan mengalami *understeer* maupun *oversteer*. Dengan kondisi kendaraan yang sulit diprediksi seperti ini, pengemudi harus selalu melakukan koreksi, sehingga sulit untuk mendapatkan waktu capaian yang baik. Permasalahan ini akan dicoba dianalisa penyebabnya agar pada tahun berikutnya mobil *Sapuangin Speed 4* bisa tampil dengan baik.

Perilaku tidak stabilnya suatu kendaraan terdapat banyak faktor yang menyebabkan kendaraan mengalami *oversteer* maupun *understeer*, salah satu penyebabnya adalah posisi titik berat. Dalam merancang mobil balap, berdasarkan buku "*Motor Car Development/Fabrication Guide*"[1], posisi titik berat berpengaruh terhadap stabilitas kendaraan. Letak posisi titik berat bila berada di depan, maka kendaraan akan mengalami *understeer*. Sebaliknya, apabila posisi titik berat kendaraan berada di belakang, kendaraan akan mengalami *oversteer*. Pada saat kendaraan belok dengan kecepatan yang sangat rendah dan sudut belok yang tetap (*steady-state cornering*), sudut slip yang terjadi hanya pada roda depan. Ketika kendaraan berbelok dengan kecepatan tinggi, sudut slip mulai terjadi pada roda depan dan roda belakang. Maka dari itu kendaraan akan mengalami *oversteer* maupun *understeer*.

Namun merancang mobil balap berbeda dengan mobil sehari-hari. Pada mobil balap, *power to weight ratio* lebih besar dari mobil biasa. Hal ini membuat roda penggerak menjadi mudah mengalami slip saat berakselerasi. Karena itu dalam merancang mobil balap analisa *understeer* dan *oversteer* harus mempertimbangkan sudut slip pada roda belakang yang merupakan penggerak.

Pada mobil *Sapuangin Speed 3*, letak posisi titik berat berada di depan dengan maksud meningkatkan traksi pada roda depan dan mengurangi traksi di roda belakang sehingga pengemudi bisa memanfaatkan akselerasi untuk memutar bagian belakang mobil. Namun hal ini ternyata sulit dilakukan

karena kendaraan masih mengalami *undesteer* pada saat berakselerasi karena adanya *Limited Slip Differential* di roda belakang.

Dalam tugas akhir ini, dilakukan analisa tentang stabilitas arah gerak belok kendaraan pada mobil formula *Sapuangin Speed 3* ini pada lintasan *skid-pad* dengan mengabaikan pengaruh *Limited Slip Differential* dan menganggap *chassis* mobil cukup *rigid* untuk melakukan *skid-pad* dengan baik. Hasil analisa diharapkan dapat memberikan arahan pada desain mobil formula *Sapuangin Speed 4* untuk mendapatkan kemampuan maneuver yang lebih baik supaya dapat memperoleh hasil yang maksimal pada kompetisi *Student Formula Japan 2016*.

## II. URAIAN PENELITIAN

Pada penyusunan tugas akhir ini prosedur penelitian dilakukan dalam empat tahap. Tahap awal, melakukan analisa-analisa dengan sumber studi literatur terhadap buku, jurnal dan penelitian terdahulu tentang kestabilan arah kendaraan. Selanjutnya adalah penentuan objek mobil yang akan diteliti yaitu mobil formula *Sapuangin Speed 3* dengan spesifikasi massa total dengan pengemudi 287,5 kg, *wheelbase* sebesar 1555 mm, *trackwidth* depan sebesar 1257 mm, *trackwidth* belakang sebesar 1198 mm dan tinggi *center of gravity* sebesar 300 mm. Spesifikasi kendaraan yang akan diuji dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi kendaraan mobil formula *Sapuangin Speed 3*

Dimensi	
Track width depan	1257 mm
Track width belakang	1198 mm
Panjang kendaraan	2804 mm
Lebar kendaraan	1442 mm
Tinggi kendaraan	1295 mm
Jarak sumbu roda	1555 mm
Berat	
Massa total berpenumpang	287.5 kg
Berat total berpenumpang	2820.38 N
Koefisien suspensi	25410 N/m
Titik berat	
Titik Berat Awal (47.4% : 52.6%)	
Tinggi CG	0.3 m
Wf	1471.5 N
Wr	1339.065 N
Posisi 50% : 50%	
Wf	1410.187 N
Wr	1410.187 N
Posisi 45% : 55%	
Wf	1551.2 N
Wr	1269.168 N
Posisi 55% : 45%	
Wf	1269.168 N
Wr	1551.2 N
Aerodinamika	
Luas frontal area	0.78 mm <sup>2</sup>
Massa jenis angin	1.25 kg/m <sup>3</sup>
Koefisien drag	0.58
Ban ( Hoosier 20.5x7 R13)	
Jenis ban	Radial gundul
Diameter roda	20.5 inch
Lebar roda	7 inch
Koefisien adhesi jalan	0.9

Kemudian mobil *Sapuangin Speed 3* dilakukan analisa kestabilan arah pada variasi posisi titik berat 50:50 (tepat di tengah), 45:55 (bergeser ke kiri), 55:45 (bergeser ke kanan). Tahap selanjutnya kestabilan arah dilakukan analisa berdasarkan variasi kecepatan dan sudut belok untuk mengetahui kendaraan mengalami skid atau guling. Dari analisa tersebut, kemudian dilakukan analisa pada lintasan *skid-pad* pada tes dinamik *Student Formula Japan* sehingga dapat mengetahui kecepatan, sudut belok dan waktu tempuh terbaik.

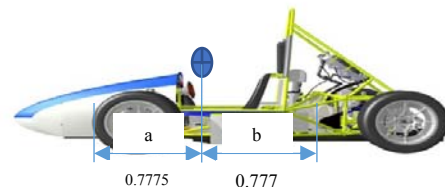
Penentuan rancangan titik berat kendaraan dilakukan berdasarkan gaya reaksi yang terjadi pada ban saat diam kendaraan statis sehingga diperoleh rancangan posisi titik berat sebagai berikut.

Tabel 2 Rancangan variasi posisi titik berat mobil formula *Sapuangin Speed 3*.

Variasi Posisi Titik Berat			
Posisi Titik Berat	50% : 50%	45% : 55%	55% : 45%
	Terletak di tengah	Bergeser ke depan	Bergeser ke belakang
A	0.7775 m	0.69925 m	0.85525 m
B	0.7775 m	0.85525 m	0.69925 m

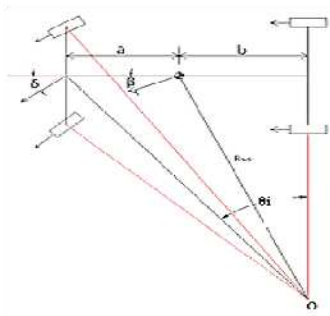
Keterangan : a : jarak dari pusat berat ke sumbu roda depan  
b : jarak dari pusat berat ke sumbu roda belakang

Adapun rancangan posisi titik berat dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Rancangan titik berat mobil *Sapuangin Speed 3* dengan variasi titik berat 50:50

Setelah menentukan posisi titik berat yang optimal, selanjutnya mengetahui perilaku belok *Ackermann* ( $R_{ack}$ ) dan sudut side slip ( $\beta$ ) seperti gambar berikut.



Gambar 2. Kinematika kendaraan belok Ackermann[2]

Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$R_{ack} = \frac{a+b}{\delta_f} 57,29 \quad (1)$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{b}{R_{ack}}\right) \quad (2)$$

Selanjutnya menghitung gaya-gaya dan momen yang ada pada kendaraan saat berbelok.

$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \cos \beta \quad (3)$$

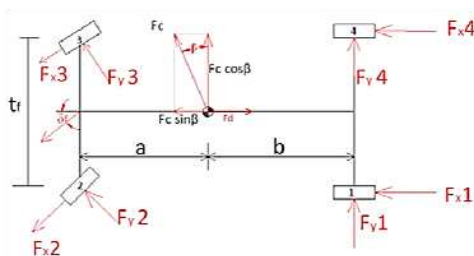
$$F_{cf} = \frac{b}{a+b} F_c \cos \beta \quad (4)$$

$$M_r = F_c \cos \beta \cdot r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma \quad (5)$$

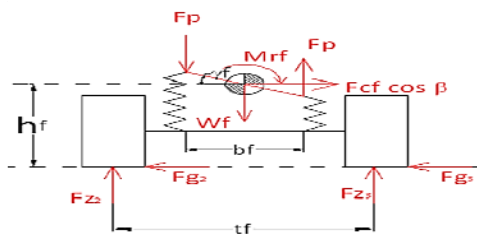
$$M_p = (F_y \sin \beta - F_d) r_c + W \cdot r_c \cdot \psi \quad (6)$$

$$F_d = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \quad (7)$$

Setelah diperoleh besar gaya-gaya dan momen yang bekerja saat belok, kemudian dilakukan analisa gaya-gaya pada ban seperti yang ditunjukkan gambar sebagai berikut.



Gambar 3. Gaya pada arah-x dan arah-y[2]



Gambar 4. Pengaruh gaya centrifugal pada momen rolling[3]

$$F_{x2} = F_{x4} = \frac{a}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) - R_{rf} \quad (8)$$

$$F_{y2} = F_{y4} = \frac{a}{2(a+b)} F_c \cos \beta \quad (9)$$

$$F_{x2} = F_{x4} = \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \cos \delta_f - R_{rf} \quad (10)$$

$$F_{y2} = F_{y4} = \frac{b}{2(a+b)} F_c \cos \beta \cos \delta_f + \frac{b}{2(a+b)} (F_c \sin \beta - F_d) \sin \delta_f \quad (11)$$

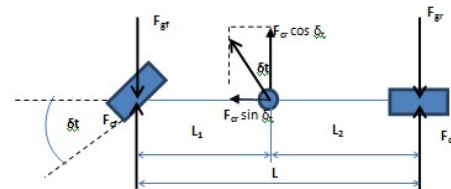
$$F_{z2} = \frac{W_r}{2} - \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta h_r)}{t_r} - \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_r} \quad (12)$$

$$F_{z4} = \frac{W_r}{2} + \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta h_r)}{t_r} + \frac{\frac{a}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_r} \quad (13)$$

$$F_{z2} = \frac{W_f}{2} - \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta h_f)}{t_f} - \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \quad (14)$$

$$F_{z4} = \frac{W_f}{2} + \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta h_f)}{t_f} + \frac{\frac{b}{a+b} (F_c \cos \beta r_c + W \cdot r_c \cdot \gamma)}{t_f} \quad (15)$$

Setelah melakukan analisa gaya-gaya pada ban, kemudian dilakukan analisa saat kendaraan mengalami skid seperti gambar sebagai berikut.



Gambar 5. Analisa skid dengan menggunakan model sepeda[3]

$$F_{gf} = \mu \cdot F_{zf} \quad (16)$$

$$F_{gr} = \mu \cdot F_{zr} \quad (17)$$

Kemudian menghitung sudut slip yang terjadi pada ban. Mobil *Sapuanjin Speed 3* menggunakan ban radial gundul. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4].

$$\alpha_{rg} = \frac{C_{rb}}{C_{rg}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} \cdot \frac{C_{rs}}{C_{rp}} [0.0879357 (F_y \alpha)^{0.79008} - 0.005277 (F_y^2)] \quad (18)$$

Dimana:

$\alpha_{rg}$  = sudut slip ban radial gundul

$C_{rb} = 0.00301003 (F_y \alpha)^{1.207861}$

$C_{rg} = 0.0023636 (F_y \alpha)^{1.222203}$

$C_{rp} = 33.5 + 5.30 (P) - 0.0916 (P)^2$

$C_{rs} = 33.5 + 5.30 (P_s) - 0.0916 (P_s)^2$

$P$  = tekanan ban (psi)

$P_s$  = tekanan ban standar 25 psi

$$C_{rx} = \left[ \frac{F_y \alpha + 0.107827 (F_y^2)}{161.1398} \right]^{0.474998} \quad (19)$$

$$C_{ro} = \left[ \frac{F_{ra}}{1611878} \right] \frac{1}{\text{m}^2/\text{s}^2} \quad (20)$$

Untuk menghitung perilaku belok kendaraan, dapat diketahui dengan menghitung nilai *understeer index* (Kus) sebagai berikut[4].

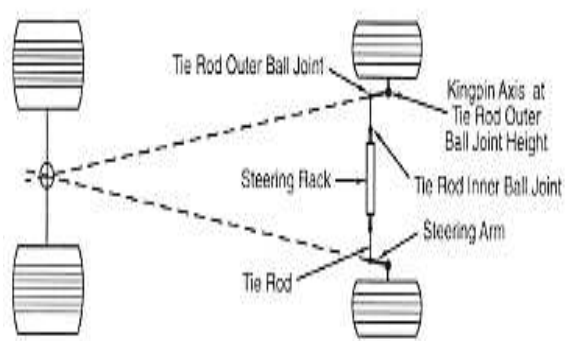
$$K_{us} = (\alpha_f - \alpha_r) \frac{gR}{v^2} \quad (21)$$

Apabila nilai Kus positif menunjukkan kendaraan mengalami *understeer*, sebaliknya, jika Kus negative kendaraan mengalami *oversteer*.

Saat kendaraan berbelok, maka kendaraan mengalami gerakan berputar atau *yaw*[4]. Dengan dasar konsep kinematika dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$Y_r = \frac{V}{R_n} \quad (22)$$

Sistem kemudi pada kendaraan memiliki peranan yang penting dalam berbelok. Sistem kemudi yang ideal dapat ditunjukkan seperti gambar sebagai berikut[5].

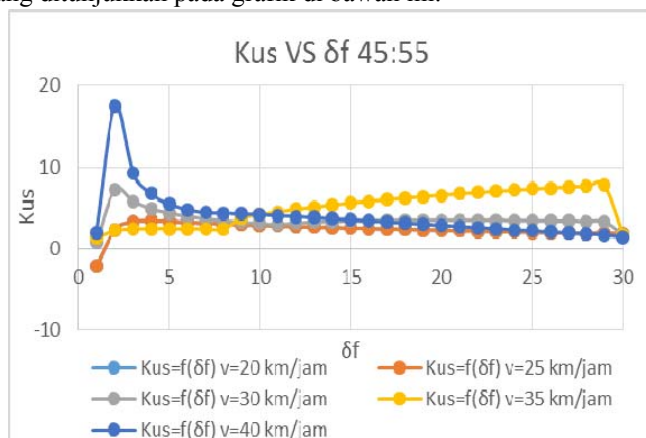


Gambar 6. Ackermann steering geometry[5]

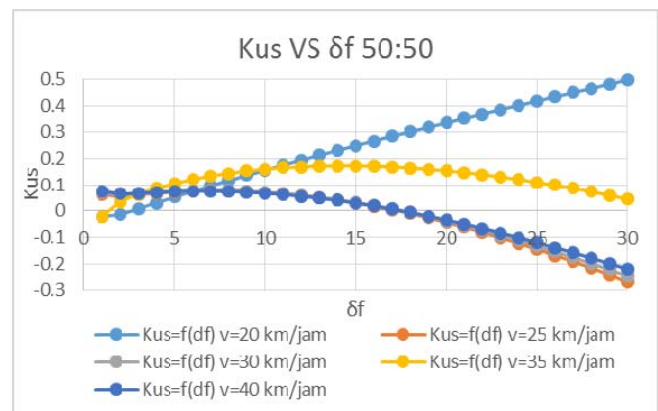
### III. HASIL DISKUSI

#### A. Analisa Posisi Titik Berat

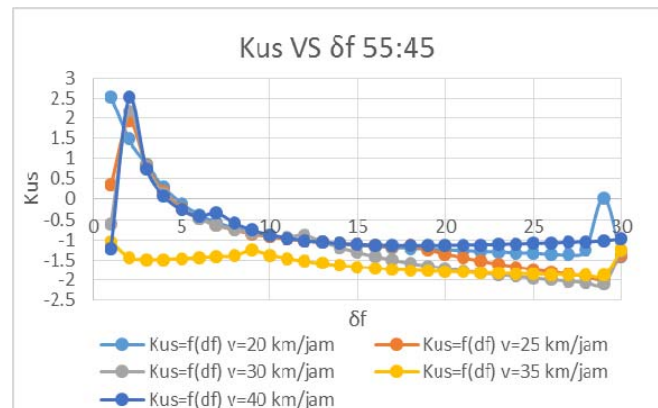
Berdasarkan hasil analisa, diperoleh posisi titik berat yang optimal yaitu posisi titik berat 50:50 (berada di tengah) seperti yang ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 7. Grafik Kus VS sudut belok pada posisi titik berat 45:55



Gambar 8. Grafik Kus VS sudut belok pada posisi titik berat 50:50



Gambar 9. Grafik Kus VS sudut belok pada posisi titik berat 55:45

Dari grafik tersebut menunjukkan posisi titik berat ini mempunyai nilai Kus yang rendah jika dibandingkan dengan variasi titik berat yang lain dan cenderung *understeer*. Oleh sebab itu, posisi titik berat adalah yang optimum.

#### B. Analisa Pada Lintasan Skid-Pad

Dengan melakukan analisa secara perhitungan, dapat diperoleh waktu tempuh pada lintasan *skid-pad*.

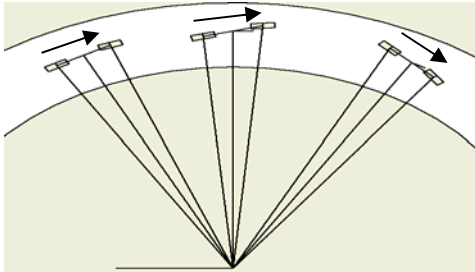
Tabel 3. Kecepatan, sudut belok dan waktu tempuh pada lintasan *skid-pad*

V (m/s)	δf (o)	Rn (m)	Kus	Keliling (m)	Waktu (s)
5.55	9	9.939955	0.136996	62.42291	44.97179
	10	8.952161	0.156713	56.21957	40.50267
	11	8.143841	0.175991	51.14332	36.84555
6.94	9	9.933151	0.075214	62.38019	33.79748
	10	8.93804	0.07156	56.13089	31.21795
	11	8.12314	0.066298	51.01332	29.0066
8.33	9	9.957941	0.075656	62.53587	27.08981
	10	8.959474	0.07188	56.2655	25.41238
	11	8.141597	0.066628	51.12923	23.93209
9.72	9	10.01127	0.111343	62.87077	22.6161
	10	9.01136	0.112607	56.59134	21.43848
	11	8.191936	0.112368	51.44536	20.37849

11.11	9	9.992378	0.071747	62.75214	19.41934
	10	8.988152	0.067782	56.44559	18.54729
	11	8.165039	0.06253	51.27644	17.75098

### C. Analisa Skid Pada Lintasan Skid-Pad

Berdasarkan hasil perhitungan analisa skid di atas, kendaraan mengalami *oversteer* karena dipengaruhi oleh skid. Pengaruh antara analisa sebelum analisa skid dan sesudah dikenai akibat skid dapat ditunjukkan dengan gambar sebagai berikut.



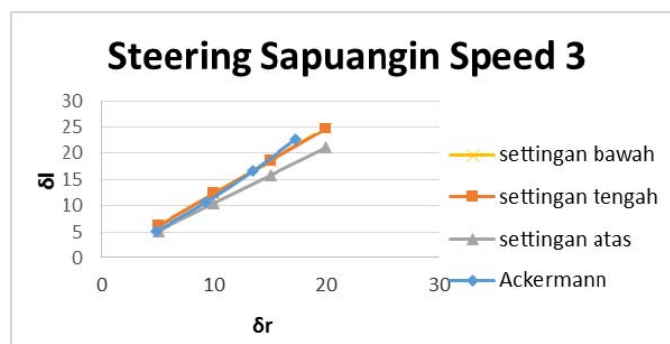
Gambar 8. Ilustrasi pengaruh yaw rate pada kendaraan *oversteer*

Pada saat kendaraan belum dikenai skid, kendaraan mengalami kondisi *understeer* yang masih lebih mudah untuk dikendalikan. Setelah dikenai skid kendaraan mengalami *oversteer*. Kendaraan dengan tipikal *understeer* cenderung susah untuk belok dan memerlukan sudut belok yang lebih besar untuk melakukan belok. Maka dari itu *driver* harus sangat ahli dalam mengendalikan kendaraan karena *driver* harus melakukan koreksi terhadap *steering* dan juga kendaraan harus dibuat menjadi sedikit *oversteer* agar kendaraan bisa mendekati kondisi netral.

Mobil *Sapuangan Speed 3* memiliki 3 settingan pada pengaturan sistem kemudi. Dari hasil pengukuran diperoleh data dan grafik sebagai berikut.

Tabel 4. Data hasil pengukuran settingan pada mobil *Sapuangan Speed 3*

Settingan bawah		Settingan tengah		Settingan atas		Ackermann	
df kanan	df kiri	df kanan	df kiri	df kanan	df kiri	df kanan	df kiri
5	6.18	5	6.15	5	5.25	4.82	5.17
10	12.36	10	12.3	10	10.5	9.3	10.68
15	18.54	15	18.45	15	15.75	13.43	16.49
20	24.72	20	24.6	20	21	17.25	22.52



Gambar 9. Grafik perbandingan pengaturan *steering Sapuangan Speed 3*

## IV. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan waktu pada lintasan *skid-pad*, kendaraan formula *Sapuangan Speed 3* memperoleh waktu terbaik secara perhitungan dengan waktu 5,0832 s dan sudut belok 10°. Kendaraan mengalami *understeer* diakibatkan adanya sudut slip yang terbentuk pada roda depan lebih besar dibandingkan pada roda belakang. Dengan adanya penambahan beban akan mempengaruhi perpindahan dari letak posisi titik berat. Semakin bergeser beban ke depan maka kendaraan cenderung mengalami *understeer*. Semakin bergeser beban ke belakang maka kendaraan cenderung mengalami *oversteer*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shimada, Yukio. 2007. *Motor Car Development/Fabrican Guide For Student and Junior Engineers*. Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. Tokyo.
- [2] Kaunang, Deni Rizal. 2013. *Analisa Stabilitas Arah Pada Kendaraan Formula Sapu Angin Speed Berdasarkan Variasi Posisi Titik Berat, Kecepatan dan Tes Dinamik Student Formula Japan 2013*.
- [3] Fitrawan, M.Ashadi. *Analisa Steering Linkage pada INKA GEA dan Stabilitas Dengan Variabel Kecepatan, Sudut Belok Terhadap Beban Muatan dan Posisi Muatan*. 2012.
- [4] Sutantra, I Nyoman dan Sampurno, Bambang. 2010. *Teknologi Otomotif*. Edisi kedua. Guna Widya: Surabaya.
- [5] Milliken, William F. dan Milliken, Douglas L. 1911. *Race Car Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers, Inc. Warrandale.